雜草學與雜草管理
第五章　有機栽培體系之雜草管理學
54-72

第五章　有機栽培體系之雜草管理

陳世雄、王淑敏
國立中興大學農藝學系

一、前言

未經馴化的植物通常稱「野生植物」或「野草」。「雜草」則是以人為利用觀點所定義的名詞，凡是對人們所栽種作物產量與品質有害的其他植物，或所謂生長不得其所的植物，均可視為雜草。雖然雜草有害於經濟、人和禽畜之處甚多，但在生態上也有不可或缺的重要性。

雜草與作物競爭空氣、水分、養分與陽光，導致作物產量與品質降低。養分競爭所造成之減產程度因雜草種類、數量、發生時期、作物品種及氣候環境條件，而有所差異。一般田間雜草實際造成減產率可高達 17-54%。適當防除雜草後，可提高作物產量 19 % (Furtick 1970)。雜草對農業生產不利之處包括：(1)降低作物產量：雜草奪取作物所需之水分、光線與土壤養分，導致作物產量降低。(2)降低農產品之品質：穀類若混有雜草種子，將顯著降低作物品質及價格。此外，乳牛食用混於牧地雜草如野蒜(wild garlic)、洋蓍草(yarrow)或歐洲菊苣(chicory)，將使乳品產生不良氣味，降低牛奶品質。(3)降低土地利用價值：雜草蔓延，特別是多年生雜草叢生，導致土地利用價值降低，栽培作物種類亦因雜草競爭而受到限制。(4)病蟲害潛伏之場所：雜草往往成為植物病菌、病毒、害蟲的中間寄主，提供繁殖庇護場所，增加為害作物機會及防治成本。(5)增加灌溉費用：生長於溝渠之雜草，嚴重影響灌溉水道功能，造成水資源浪費及管理不便。例如布袋蓮於灌溉溝渠內大量繁殖，造成渠道阻塞。(6)增加農業生產成本：耕作過程中，因防治雜草費用的支出，增加生產成本，降低生產效率。(7)增加肥料的消耗：雜草與作物競爭土壤養分，致使作物養分吸收不足，生育不良。(8)傷害家禽與家畜：家禽、家畜取食雜草中有毒草種，可能致病或死亡。例如刺莧(*Amaranthus spinosus* L.)植株含有皂素，牛隻食用過量可能發生臌脹症。(9)對人類健康之影響：雜草也對於人類造成影響，如美國豬草所引起之花粉熱(spring fever)。

有機栽培過程不允許使用任何化學農藥及肥料，病蟲害防治不易，雜草的防除更加困難。雜草防除在有機栽培體系中，實為不易克服之難題。根據估算，全球由雜草所引起的稻作產量和品質損失約為 10%(Smith 1983)。稻作面積為我國各作物之首，2000 年之栽培面積

332,183 公頃(行政院農業委員會 2001)。早期傳統之稻作栽培，除草完全依靠人力及簡單工具，形式有如有機栽培。70 年代晚期除草劑普遍使用，使稻作栽培在雜草防除上之艱辛大為降低。2000 年我國農藥使用量 39,597 公噸，其中除草劑使用量 15,687 公噸，佔 39.6%(行政院農業委員會 2001)。現代農業太過依賴農藥、化學肥料，導致地力衰退、農產品遭污染、水質惡化及生態不平衡等問題，威脅人類健康與生活環境。我國已於 2002 年加入世界貿易組織(World Trade Organization, WTO)，政府為因應我國加入 WTO 後，國外廉價農產品開放進口對國內農產品市場所帶來的衝擊，其中一項因應做法乃為推廣施行有機栽培。期以提昇國產農產品品質，生產高品質、無污染、無殘毒之農產品，使具有市場競爭力。國外有機農產品進口到我國時，在病蟲害的防疫檢疫上可能必須經過藥劑燻蒸或相關放射線處理，才准其進口，相關處理過的農產品已不符合我國有機農產品生產規範。相對的，也因此保障了國產有機農產品的競爭優勢。

有機栽培在栽培過程中不允許使用任何化學肥料及化學合成農藥(含除草劑、生長調節劑等)，係一種調和資源利用與生態平衡之農業生產方式，並且兼顧經濟利益和社會利益。有機栽培具有環境生態保育、有機質廢棄物再利用、水質源維護及土壤永續經營等多重意義，配合有機農業之耕作技術，包括雜草防除技術之研發，亟待配合進行。

二、雜草對生態及水土保持之功能

田面發生的雜草種類與數量，因氣候環境、作物種類及田間管理方式不同差異極大，如水、旱田主要雜草，因水分管理而有不同的草相。即使同為旱田之果園及蔬菜田草相，也因作物生育期的長短、植株形態及競爭力等因素，有明顯差異。另外，冬生型或夏生型雜草之季節性分布，也會形成區域特有的草相。我國一期作水稻整地前，在低溫環境下，田面會發生大量冬生型旱田雜草，如小葉灰藋 (*Chenopodium ficifolium*)、旱辣蓼 (*Polygonumla pathifolium*)、小葉碎米薺 (*Cardamine parviflora*) 等，二期作高溫則多為稗草及自生稻等禾本科雜草，顯示不同季節有不同的雜草相。

我國耕地常見的雜草，種類不下數百種，在農業上較重要的約有百餘種。根據調查統計結果，稻田已發現的雜草包括 41 科 145 種，其中以禾本科 23 種、莎草科 22 種、菊科 13 種為最多。稻田雜草大多為挺水型水生植物，即根部著生於土中，地上部枝葉大部份露出水面，如稗草(*Echinochloa crusgalli*)、螢藺(*Scirpus juncoides*)、球花蒿草(*Cyperus difformis*)、鴨舌草 (*Monochoria vaginalis*)、母草(*Lindernia pyxidaria*)、尖瓣花(*Sphenochola zeylanica*)及雲林莞草(*Scirpus planiculmis*)等。雜草種類常因期作或季節不同而異。臺灣一、二期作水稻生育初期氣溫差異大，期作間雜草分布亦大有差別。如野慈菇多發生於一期作，鴨舌草、紅骨草及尖瓣花則在二期作較多。地區間的雜草種類也有差異，乾殼草、水丁香、水蕨等在東部較常發生。喇叭草、竹葉草、穀精草、女

髮草、金魚藻等經常發生於北部。冬季休閒期間，鵝兒腸、旱辣蓼、芒稷較為常見。

雜草依生長習性，可歸類分為：(1)一年生雜草(annuals)、(2)二年生雜草(biennials)、(3)多年生雜草(perennials)、(4)水生草類(aquatic weeds)、(5)木本植物(woody plant)、(6)蔓藤植物(vines climbers and stranglers)、及(7)寄生植物(parasitic weeds)等七大類，分述如下。

1.一年生雜草

一年生雜草在一年生長季內可以完成一個世代或生活史。一般可區分為夏季一年生與冬季一年生。一年生雜草由於生活史短，繁殖迅速，族群龐大，佔雜草族群中絕大多數，主要賴種子繁殖。夏季一年生指生長過程在夏季，於冬季死亡；例如牛筋草。冬季一年生雜草則指發芽於秋季或早冬，經寒冬於晚春死亡；例如小葉灰藋。

2.二年生雜草

在兩年內完成生活史，僅見於溫帶地區。第一年種子發芽後只行營養生長，蓄積營養物質，植株成叢狀越冬。第二年始成熟產生種子後死亡。此類植物養分貯存於根部或莖部，亦以種子繁殖為主。

3.多年生雜草

此類雜草之生活史均在三年以上，第一年不產生種子，以後每年可產生種子，甚大比例賴營養器官繁殖。依營養繁殖器官之不同，可區分為三類：(1)簡單多年生草類：以種子繁殖為主，有時被切斷之營養器官，亦有繁殖能力。(2)球莖多年生草類：以種子、莖、地下球莖或塊根繁殖。(3)匍伏多年生草類：可分為淺根性如狗牙根，分佈於地底約 18-30 cm；深根性如禾草，根系分佈於較深的土層。由於此類雜草常賴營養器官繁殖，故對除草藥劑抵抗力甚強。

4.水生草類

又可區分為三類:

(1) 漂浮植物—生長於水面，隨水流漂浮，根不著地；例如青萍、布袋蓮、滿江紅等。
(2) 挺水植物—以根著生濕地湖沼，莖細長中空，莖葉大部分露出水面而漂浮；例如鴨舌草、野慈菇、水莧菜等。
(3) 沉水植物—完全或大部分沉沒水中之植物；例如水蘊草、金魚藻等。

5.木本植物

在放飼牲畜之天然牧場，此類植物若大量繁衍將嚴重危害牧草或茶園；例如茶園中之鵝掌柴(*Schefflera octophylla*)，大青(*Clerodendron cyrtophyllum*)等。

6.蔓藤植物

此類植物在荒地與山林地生長甚多，均屬多年生；例如蔗田中之貓牽牛(*Ipomoea hardwichii*)、果園之扛板歸(*Polygonum perfoliatum*)及其他旋花科雜草，為耕地常見之蔓藤植物。

7.寄生植物

荒野山林地之寄生性植物甚多；例如野菰在蔗根上發芽並吸取養分而生長，菟絲子及槲寄生則寄生於樹幹上。

地球上的物種繁多，不同的物種各司其所，扮演不同的角色，如生產者(植物)、消費者(動物)、清除者(昆蟲)及分解

者(微生物)。各種生物生長在同一棲地，形成一個生態系，例如草原生態系、紅樹林生態系及針葉林生態系等等，而地球生態系則是由不同生態系組成更為複雜的生態系。通常愈是複雜的生態系，因物種間的相生相剋而達到物種間的平衡和穩定。自然界的萬物因而趨向多樣化，百花爭鳴，鳥語花香，生生不息。在生態系中，雜草常是重要的生產者，也是動物昆蟲的主要食物來源。雜草在各種生態系的維持及組織，扮演極為重要角色。

臺灣民間有句俗話「一枝草、一點露」，其意義在於即使微小如一株小小的雜草，都有其堅毅的生命力，大自然也會不吝提供一滴露水，供其生長。小草也有固結土壤，防止沖刷的能力，因而使得自然界處處蘊藏生機。這句話更可以引伸到人類天生我才必有用，不可以自暴自棄的道理。一般情況下，人們對路邊的野花雜草並不重視，甚至有人希望除去而後快。耕地裡的雜草更令農人感到厭惡，主要因為田間雜草不利作物生長。但這些雜草若生長在山坡地上或乾旱地、鹽分地，甚至污染地，則對水土保持、淨化水資源、防風沙或生態維持將發揮重要的功能。這些雜草中或許擁有抗旱、抗鹽分或抗污染等重要基因，成為現今生物技術產業的重要資源。早期醫藥不發達，普遍利用存在於田野的雜草白茅之根熬湯，用以治療小孩麻疹之高燒。透過現代醫藥學分析，發現白茅根部中含有多種酚酸化合物，其中之一為水楊酸(salicylic acid)，為 salicylin 的成分，而 salicylin 的商品名即是阿斯匹林(aspirin)。中草藥在中醫學上扮演重要地位，其中不乏被人們歸類為雜草之多種植物。雜草及其葉上液泌之露珠，生態上扮演吸引昆蟲及其天敵之角色，因此，「一枝草一點露」在生態上扮演極為重要的角色，千萬不要輕估雜草在生物多樣性及對生態的重要性。

總結來說，雜草對人類及生態環境提供下列利益：(1)雜草是野生草食性動物的主要食物來源，並作為牧場中牲畜之飼料。(2)有些雜草具有醫藥療效，例如節節花、滿天星、咸豐草、丁香蓼、水丁香、一條根、通天草等。(3)雜草可涵養水源、增強地力、覆蓋地表、水土保持、避免雨水沖刷，如百喜草、假儉草。(4)雜草可刈取製成堆肥作為有機肥，如滿江紅(*azolla*)能固定空氣中游離氮素。若種植於水田中，提高土壤之肥力，增加稻穀產量。(5)豆科雜草之根瘤菌具有固定空氣中氮素，也常可以用為綠肥作物。(6)雜草通常是土壤肥分及結構組織的指標。以及(7)雜草具有綠化環境、降低氣溫，減少溫室效應之功能。

三、雜草有機防除

土壤本身就是各種植物的種子庫，其中所含的雜草種子數量及種類極其繁多，對作物生育造成持續漸進的干擾。氣候環境、栽培作物的種類、整地耕犁的程度、土壤含水量及除草劑使用的種類與頻度，均會改變田區內雜草發生的種類與數量。通常在栽種作物的同時，許多雜草種子也已開始萌發，與作物競爭田間天然養分及人為提供的資源，完成生活史達到其種族衍續目的。

雜草藉其種子產量高及休眠期長之特性，具有很強的繁殖能力。雜草種子容易隨著灌溉水、栽培作物種苗之介

質、動物攜帶或風力等因素而快速擴散到其他地區，營養繁殖莖甚至會因整地時農機具的切割，而大量繁殖蔓延至全區。從雜草蔓延快速及競爭力強大之天賦，不難理解有機栽培體系，雜草防除的困難。人類為得到高產的利益，不惜大量使用除草劑，短時間似乎得到顯著的成效，長久以來，卻改變自然界原有之生態平衡，須花費更多時間及心力，去彌補所造成的缺失。吾人亟需建立生態平衡之「雜草管理」觀念，取代傳統「殺草、除草」之肅殺想法(蔣 2002)。

目前常用的非農藥雜草防除技術包括：(1)配合耕作制度之水旱田輪作、(2)增加耕犁次數、及(3)穀殼、稻桿或塑膠布敷蓋，後者可抑制田面雜草萌芽，用以降低田面雜草的發生及土壤中雜草種子量。此外，在果園維持低矮匍伏性雜草草生栽培，減少土壤水分蒸發，除具水土保持效益外，也可在適度管理下，降低雜草競爭力。如果能夠維護田區四周及灌溉溝渠之清潔，有助於減少有害種子及營養繁殖體的傳入。對於高危害潛力而防除困難的多年生雜草例如蔓澤蘭，於發現初期即應予以有效防除，降低危害程度。

(一)機械或物理性雜草防除

利用機械或物理方法除草，已在傳統農耕過程被人類應用數百年之久。雖然近數十年來研發的的化學除草劑提供現代化農耕重要的貢獻。但也造成生態上之重大浩劫。有機農業禁止使用化學除草劑，使得傳統除草方法仍有其重要性。

1.人工除草

實施有機農法，因不能使用除草劑，一般小面積栽培或其他機械無法進行除草作業時，常以人工除草方式行之。人工除草是一種相當有效的除草方法，但應在雜草開花結實前實施，避免種子再次掉落萌發。拔草前，先行適度灌溉，可使土壤鬆軟，或借用其他工具如小土鍬，較易將雜草連根拔除(圖 1)。

2.割草

以鐮刀或割草機，割除雜草之地上部，主要目的為防止雜草產生種子，降低種子庫之種子數量，常用於草坪、路旁、牧地及水土涵養之邊坡草地。長期連續的割草，可減弱多年生雜草之生長勢，使其生長變緩，以降低危害程度(圖 2)。

圖 1. 有機稻田利用人工除草(攝自興大農場)。

圖 2. 背負式割草機人工除草(攝自興大農場)。

3.淹水除草

長期淹水對許多旱田雜草頗具功效，淹水前配合翻耕土壤，有助於雜草根系裸露，易於進水腐爛。浸水期以 3-5 週，水深 5~30 公分，以不讓草長高過水面為宜。本法可防除旱地一年生或多年生雜草，如香附子。但對浸於水中呈休眠狀態之雜草種子，效果不佳(圖 3)。

4.火焰除草

於植物老熟乾枯後，放火燒燬，此法兼具殺除部份病蟲害之效果，但雜草種子往往掉落於田面或土壤裂縫，仍可逃避火燒之傷害。近期發展出之火焰器可用油或液態瓦斯為燃料，噴射火焰或噴射高溫蒸汽。常用於道路、溝渠、廣場之雜草防除，效果甚佳(Melander *et al*. 2002)(圖 4)。

5.敷蓋

利用不透光之物質敷蓋土壤表面，使雜草無法獲得陽光，可獲抑制雜草之效果。本法可資利用之資材種類頗多，常用的有稻桿、穀殼、蔗渣、花生殼及塑膠布等(圖 5 及圖 6)。我國鳳梨栽培常用塑膠布或有機資材敷蓋，茶園株間亦常用花生殼或豆粕類敷蓋(圖 7)，均為此一原理之應用。表土敷蓋除可抑制雜草生長外，尚有保持土壤水分，提昇土壤溫度之效果。若利用有機材料，還可提高土壤有機質含量，為一相當有效的雜草防治方法。水稻田也可利用穀殼、黃豆粉、米糠及再生紙等敷蓋控制雜草(圖 8 至圖 10)。蘇(2001)於中興大學農場進行有機稻田雜草防除田間試驗，試驗結果以紙膜敷蓋處理防治雜草效果最好，對雜草鮮重及乾重抑制效果均達 99%。敷蓋紙膜使土表透光度降低，有效控制水稻生育初期雜草生長。稻殼敷蓋處理抑制雜草效果較差，相較對照組，平均雜草鮮重及乾重分別減少 34.7%和 38.1%。原因可能是殘存不飽滿稻穀招來麻雀等鳥類啄食，鳥糞中夾帶雜草種子，導致

圖 3. 蔬菜田淹水處理(攝自興大農場)。

圖 4. 以火焰高溫燒死雜草幼苗(攝自興大農場)。

圖 5. 水稻田埂敷蓋塑膠布抑制雜草(攝自興大農場)。

雜草反而大量繁殖，對雜草抑制效果不彰(表 1)。

圖 6. 香蕉園敷蓋稻殼抑制雜草(攝自興大農場)。

表 1. 不同雜草控制方法對雜草生質量之影響(2000 年二期作，中興大學農場)。

處理	鮮重 g m^{-2}	乾重 g m^{-2}
對照區	1332.5 a	612.5 a
紙膜敷蓋	0.0 b	0.0 c
滿江紅敷蓋	390.0 ab	203.8 abc
穀殼敷蓋	982.5 ab	415.0 abc

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α= 0.05 by Duncan's MRT. (摘自蘇 2001)

圖 7. 茶園利用花生殼及塑膠布抑制雜草(攝自名間鄉)。

圖 9. 田間施用米糠抑制雜草(攝自興大農場)。

圖 8. 有機稻田紙膜敷蓋抑制雜草(攝自興大農場)。

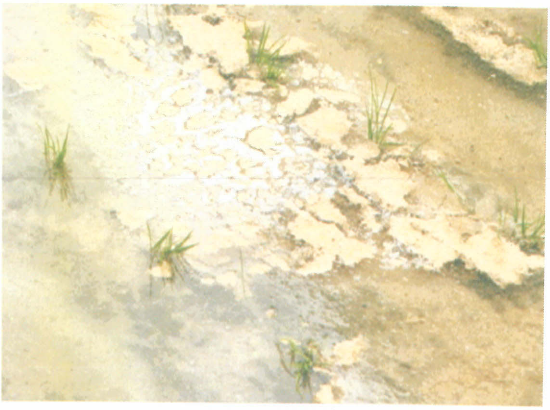

圖 10. 田間施用米糠抑制雜草(攝自興大農場)。

再生紙的顏色會影響雜草控制效果。以黑色再生紙對雜草控制效果比原色再生紙好，效果類似除草劑，主要在於其可完全阻隔光線穿透。

黃豆粉及米糠均為未發酵之生鮮有機資材，施到稻田遇水即發酵腐爛，發酵過程產生高溫，高溫的浸水缺氧環境使雜草種子無法萌芽。同時發酵過程也使水中氧氣不足，產生大量還原物質及毒害物質，造成水中及土壤中的氧化還原電位急速下降，使雜草種子缺氧無法萌發，雜草幼苗的根系也因而生育不良或死亡(中山等 2001，王 2003)。但施用過量的黃豆粉及米糠也會造成秧苗的傷害，甚至死亡(王 2003)。日本學者大場(2001)和中山等(2001)也指出米糠在水稻插秧後愈早施用，並配合插秧前多次的耕犁，對於雜草抑制效果愈好。

6.耕犁

耕犁主要功能之一在於清除田間雜草，鬆軟土壤以利植物根系發育，只為其功能之一。耕犁是一種實用且有效的田間除草方法，幾乎對各種雜草均有效。經由表土翻犁可以清除已萌芽之雜草，同時可將埋在土中之雜草種子翻至表面，促其萌發，經再次翻犁，即可達清除之目的。

7.不整地配合敷蓋

不整地栽培法多利用前作收穫後之作物殘體敷蓋田面，配合不整地或低整地耕作制度，可節省整地所需費用及人工，降低雜草管理費用，亦具有減少水分散失及防止土壤沖刷等優點。經過整地後，可將已萌發雜草翻除，同時也翻出土壤內埋藏之雜草種子至土表，於適當環境下萌芽生長，反而造成雜草萌生。一般不整地田間之雜草量較低，幾乎只為整地的一半。

(二)生物性防除雜草

病原菌、昆蟲或其他生物對植物進行攻擊，達到生物防除之結果，是自然界早已存在的現象。但是被利用為除草策略，則為近期之舉。雜草生物防除法是一種長期有效，對環境無污染之雜草防除方法。但最大缺點在於萬一使用不慎，可能會引起新的病蟲害，或直接危害經濟作物的生產，其損失可能難以估計。所以雜草的生物防除，需經過嚴密的評估與策劃，方可付諸實施，以免造成意外的損失。此外，生物防除法無法針對田間複雜的雜草族群，進行全面的防除，僅能對一種或數種特定雜草發生作用。此外，雜草防除後之生態空隙，易為他類雜草填補，導致防除效果降低，為另一項缺點(邱 1985)，因而在採行雜草防除策略時必須考慮此一現象。

1.飼鴨控制雜草

早期在我國農村，常見水稻二期作收穫後，稻田放飼鴨成群啄食田間掉落之稻穀、雜草種子、田螺、害蟲等，不但可促進鴨隻生育成長，也有助於改進土壤肥力。此種模式與近年來日本、韓國、越南、中國及我國推行水稻與鴨子共棲經營極為類似(王 2003)。此種經營模式可應用於水稻有機栽培，將水稻栽培與鴨子飼養結合，不但可達到完全無農藥、無化學肥料之有機耕作模式，維護農業永續經營的生產環境。

臺灣利用鴨稻共棲的耕作方式所生產之稻米稱為「合鴨米」。宜蘭縣礁溪鄉

黎明農牧場蕭龍城場長世代以鴨之育種為主要事業，並育成合鴨後，提供日本合鴨社之用，同時也更積極推廣合鴨應用方式，其中對水稻有機栽培田之應用，更是不遺餘力。合鴨是一種特殊的雜交鴨，其親本來源母本是番鴨與北京鴨之雜交後代，父本是正番鴨。鴨子具有好動與雜食的習性，飼養於水田，可以穿梭游動，啄食雜草與害蟲等。又鴨蹼攪動水田泥土，具有中耕作用，促進水稻之生育，同時其排泄物作為稻作之氮、磷、鉀及其他微量元素的補充，使得病蟲害和肥料問題可一舉解決。除了福壽螺、負泥蟲等較大體積害蟲由鴨直接啄食以外，蟲害密度大幅降低，使得蟲媒病害減少，病原菌可控制在極小量，進而降低病蟲害的發生機率。

在稻田裡飼養鴨子，能夠有效地控制雜草，降低雜草族群密度(Asano *et al*. 1999, Isobe *et al*. 1998, Kang *et al*. 1995, Kim *et al*. 1994, 王 2003)，主要在於鴨子覓食的過程，來回游走，攪混田水，混濁的田水使萌發的雜草幼苗，得不到陽光而無法生長，或使雜草種子無法萌發。加上鴨蹼每天踐踏，幾乎可以完全抑制插秧後萌發的雜草(Isobe *et al*. 1998)。一般而言，飼鴨可以減少稻田雜草族群 92% (Kang *et al*. 1995, Kim *et al*. 1994)，王(2003)則指出飼鴨可可抑制稻田雜草 99%。合鴨耕作制度下，對於雜草的抑制取決於合鴨的活動習性。合鴨的活力與雜草族群密度習習相關(Asano *et al*. 1999)。解剖合鴨發現其消化道內除雜草外，還有昆蟲殘體。可見稻田飼鴨不僅能有效控制雜草，對於稻株上的害蟲也會一併補食加以控制(圖 11 及圖 12)。

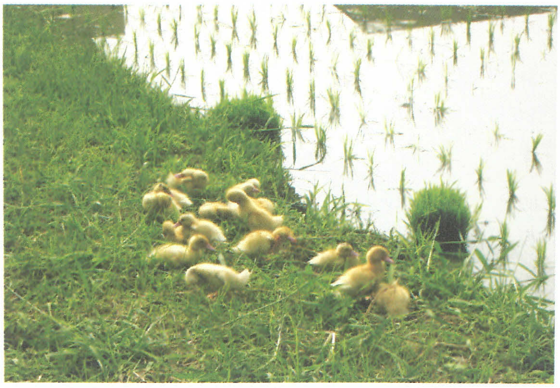

圖 11. **小鴨放飼田間(攝自興大農場)。**

圖 12. **鴨子在水田覓食遊走情形(攝自興大農場)。**

Asano *et al*. (1999)觀察到解剖鴨子胃內除飼料、小石子、砂土及雜草外，有昆蟲的殘體佔總食量的 0.2%。鴨子除食昆蟲外，還會把臺灣稻田最困擾且繁衍快速的福壽螺覓食乾淨(圖 13)。此外，合鴨若飼養密度較高，除啄食福壽螺為食物外，必須每天補充部份有機飼料。由於活動充足，稀有天然維生素不缺，因此鴨隻特別健壯，肌肉脂肪極低，鴨體不含任何藥物殘留。水稻抽穗前，為免鴨隻啄食稻穗，將鴨子趕至果園進行肥育，此鴨堪稱不折不扣的「有機鴨」(圖 14)，提高鴨價，如中興大學的有機鴨每隻售價即達三百元。由於沒有農藥的摧殘，整個生物體系得以完整復原，

又因無化學肥料施用，地力改善，更加速有機物的滋生，因此構成一個完整的生態體系。合鴨米的生產兼顧生產、生活、生態的「三生理想」，合鴨米不含農藥，不使用化學肥料，讓人和土地和諧共榮，可以進而發展永續經營的農業。

圖 13. 鴨子啄食福壽螺(攝自興大農場)。

圖 14. 有機果園之生態(攝自興大農場)。

2.滿江紅抑制雜草

滿江紅為浮游於水面之多年生水生蕨類植物，屬槐葉蘋目，滿江紅科，滿江紅屬。滿江紅屬目前已知有 6 個種，包括(1) *Azolla caroliniana* 分佈於北美洲及歐洲，(2) *A. filiculoides* 分佈於美洲及歐洲，(3) *A. mexicana* 分佈於中美洲及北美洲，(4) *A. microphylla* 分佈於南美洲，(5) *A. nilotica* 分佈於非洲，及(6) *A. pinnata* 分佈於亞洲、大洋洲及非洲。滿江紅在我國水田、池塘和沼澤等水域到處可見，主要生長於亞熱帶及熱帶，植體之大小依各品系之不同而異，植株之形狀亦依不同種而異。滿江紅莖著生根與葉，葉互生成羽狀排列，各葉分為上下兩片。上裂葉浮在水面有氣孔及同化組織，葉內側有許多黏液小穴，裡面有共生之固氮藍綠藻 *Anabaena azolla*，固氮藍綠藻同時具有光合與固氮的能力(簡等 1994, Becking 1979, Singh 1978)。

滿江紅之生長與增殖速度非常快，在接種後二星期，植體鮮重往往可增加為原來的 15~20 倍。當長滿水面後，能繼續以疊層(multiple layers)的方式增殖。溫室研究顯示，其疊層數在 45 天後為 4 層左右，但在田間繁殖較快，可達 5~6 層之間(李等 1981)。最適之生長環境為 pH 4.5~7.0，溫度為 15~30 (Watanabe 1977)。在適合之光照及溫度下其生長極為迅速，約 4 天可繁殖一倍，覆蓋性強，對水稻田雜草抑制有很好之效果，可替代除草劑之施用(圖 15)。我國古代即記載此種植物具有肥田之效果，明朝末年(17 世紀)之水田即曾加以利用。滿江紅係優良氮肥來源之一，其植體生長迅速且可與水稻共作，為水田優良綠肥作物之一 (Moore 1969, Rains and Talley 1979, Watanabe 1977)。

菱角田或蓮花田於浸水種植初期進行滿江紅之放養，亦可抑制雜草及剛毛藻之生長。稻田中接種滿江紅能增進稻田的肥力，提高產量，特別是氮素的提供(蘇 2001, 王 2003)。因此，滿江紅不僅能減少化學肥料的使用，並能增進土壤肥力(Wang *et al*. 1981)。

圖 15. 滿江紅覆蓋田面可以有效控制雜草(攝自興大農場)。

圖 16. 利用芋頭田進行滿江紅大量繁殖(攝自興大農場)。

插秧後隨即接種滿江紅，由於滿江紅生長快速，迅速覆蓋水面，抑制大部分雜草之萌生。蘇(2001)指出一期作水稻生育初期低溫，雜草種子萌芽慢，利用滿江紅迅速疊層覆蓋田面的特性，能有效地達到防治雜草效果。建議一期作滿江紅接種量每公頃 1 公噸可以有效控制雜草族群。二期作初期高溫，雜草種子萌發生長快速，因此建議增加滿江紅接種量每公頃 2 公噸，以促使滿江紅迅速疊層覆蓋田面達到抑制雜草效果。但是，利用滿江紅與水稻共作控制雜草必須事先繁殖足量之種源。林(1983)指出插秧前繁殖滿江紅 21 天，其鮮重由每公頃 0.75 公噸增加到 19 公噸，增加 25 倍。因此，蘇(2001)建議一、二期作每公頃必需分別以 0.03 及 0.06 公頃田地，於插秧前 3～4 星期，每平方公尺接種 100 公克滿江紅事先繁殖，以提供上述之建議接種量(圖 16)。Lee and Lin (1981)指出滿江紅抑制雜草之效果與施用「馬上除」除草劑 30 公斤相似，幾乎完全抑制稗草及球花蒿草之萌生，僅有少數之鴨舌草、螢藺，及紅骨草之生長。Moore (1969)及 Rains and Talley (1979)也指出滿江紅能抑制水田雜草之生長，王(2003)和蘇(2001)試驗結果與之相符。

滿江紅作為水田雜草之生物防除主角，在水田作物栽培上具有很高的實用價值。滿江紅蛋白質含量高達 35 %，且含多種不同的胺基酸成分，雞、鴨及豬嗜食之。將來亦可利用水田養殖滿江紅供為飼料，或滿江紅與水稻共作，當其長滿水面時，既可以抑制雜草之生長，又可當飼料讓鴨群覓食(Lumpkin and Plucknett 1980)。

雜草生物防除法可利用之生物種類繁多，包括病原菌、昆蟲、草食性動物等。昆蟲在雜草防除上的應用，主要是利用成蟲啃食莖葉或利用幼蟲危害根部或莖葉等，造成雜草生長不佳，繁殖力下降，減少雜草族群。如夏威夷之刺灌(*Lantanalcamara*)利用 *Crocidoema lantana* 蛾、*Agromyza lantana* 蠅及 *Thec laechion* 蝶等之幼蟲蛀食刺灌之花及果實；美國西海岸一帶，引進一種甲蟲(*Chrysolina* spp.)有效的清除牧場及路旁之地耳草(*Hypericum perforatum*)，都是以草食性昆蟲防除雜草成功之實例。草食性禽類如鵝、火雞等，放飼於果園，可清除果樹底

下雜草。中興大學農業試驗場有機果園養鵝來除草(圖 17)，僱工除草每天工資一千元，2 週後需重複一次，花費龐大，但一千元可購得 23 隻小鵝，天天自動協助除草，不必支付工錢，還會自行繁殖鵝群，鵝糞也是優良的有機肥，可謂一舉數得。牛、羊類家畜亦可適合於某些特殊作物地區，以清除雜草。如美國奧勒崗州的萊克奧斯維戈市附近有一處國家公園，因雜草叢生，地方政府利用羊隻吃草的天性，放養四百五十隻羊，擔任除草大軍，成效奇佳。開放羊吃草的園區有九畝之多，羊群胃口極佳，林地上 150 公分以下的植物，都被啃食一光，整體花費僅需二十二萬台幣，遠比人工除草便宜。日本近年也嘗試於水田中飼養鯉魚，可達防除雜草之效果。

圖 17. 果園中養鵝具有除草之功能(攝自興大農場)。

3.各種有機雜草防除方法之比較

王(2003)研究指出，有機稻田雜草控制方法間，以紙膜敷蓋處理防治雜草效果最好，對雜草鮮重及乾重抑制效果達 99 %以上(表 2)。飼鴨處理抑制雜草效果次之，相較於對照處理，雜草鮮重及乾重減少 99 %。煙燻稻殼敷蓋、米糠敷蓋及接種滿江紅處理抑制雜草效果也不錯，相較於對照組，雜草鮮重分別減少 92.8、85.7 及 80.6 %；雜草乾重分別減少 94.6、83.7 及 90.7 %。黃豆粉敷蓋處理抑制雜草效果最差，相較於對照組，雜草鮮重及乾重分別只減少 74.8 %及 65.7 %，但仍與對照區達顯著差異(表 2)。

黃豆粉每平方公尺施用 0.6 公斤及 0.9 公斤和米糠每平方公尺施用 1 公斤及 1.5 公斤處理，雖均無雜草發生，雜草防除效果佳，對雜草鮮重及乾重抑制效果達 99 %。但因施用量過高，也造成對水稻植株傷害，施用量愈高，危害愈為嚴重，甚至造成秧苗死亡(表 2)。高用量每平方公尺施用 1.5 公斤米糠，造成秧苗死亡高達 100 %，而黃豆粉每平方公尺施用 0.9 公斤，使秧苗的死亡率達 21.4 %。紙膜敷蓋雖能有效抑制雜草族群，但每公頃紙膜成本高達 4~5 萬元，對於水稻生產是否有其經濟效益，值得商榷。此外，紙膜製造過程添加之化學物質，以及製程排放之物質，均可能違反有機農業生產之規範，仍不適合有機農業之應用。

利用鴨子與水稻共作來控制雜草，能有效抑制雜草族群的繁衍，降低雜草與水稻競爭養分，且其排泄物更可供水稻生長所需之養分來源，因而提高水稻穗數，增加稻穀產量，稻穀產量每公頃更高達 5,700 公斤(表 3)。黃豆粉三個等級施用量處理，以低用量每平方公尺施用 0.3 公斤之稻穀產量最高，平均稻穀產量為 4,989 公斤，每平方公尺施用 0.9 公斤黃豆粉之產量較低，平均產量為 3,294 公斤，且隨施用量的增加，稻穀產量有下降的趨勢。米糠敷蓋處理也具有相同現象，隨著米糠施用量的增加，其稻穀產量亦隨之下降，以低用量每平方公尺施用 0.5 公斤處理之稻穀產量較高，平均稻穀產量為 2,839 公斤(表 3)。

表 2. 不同雜草控制方法對雜草生量之影響(2002 年二期作) (摘自王 2003)。

處理	kg m^{-2}	鮮重 g m^{-2}	乾重 g m^{-2}
對照區		1592.6 a	530.9 a
紙膜敷蓋		0.0 b	0.0 c
煙燻穀殼		115.4 b	28.6 c
滿江紅敷蓋		308.6 b	49.4 c
黃豆粉敷蓋	0.3	401.2 b	172.8 b
黃豆粉敷蓋	0.6	0.0 b	0.0 c
黃豆粉敷蓋	0.9	0.0 b	0.0 c
米糠敷蓋	0.5	228.4 b	86.4 bc
米糠敷蓋	1.0	0.0 b	0.0 c
米糠敷蓋	1.5	0.0 b	0.0 c
飼養鴨子		8.3 b	2.8 c

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α= 0.05 by Duncan's MRT.

表 3. 不同雜草控制方法對水稻臺稉9 號產量及構成因素之影響(2002 年二期作) (摘自王 2003)。

處理	kg m^{-2}	株高 cm	穗數	穗長 cm	穗重 g	一穗粒數	千粒重 g	稔實率 %	產量 kg ha^{-1}
CK		93.9 b	12.8 d	17.5 c	1.76 b	79.2 ab	24.2 d	83.1 b	3011 efg
紙膜敷蓋		96.3 b	15.9 b	18.1 c	2.11 ab	82.5 ab	25.4 bc	85.6 ab	5267 ab
煙燻穀殼		94.9 b	14.7 bc	19.1 b	1.81 b	78.3 ab	25.5 b	82.1 b	4200 bcde
滿江紅敷蓋		94.3 b	14.7 bc	17.9 c	1.96 ab	85.4 ab	25.5 b	84.9 ab	4544 abcd
黃豆粉敷蓋	0.3	105.8 a	15.8 b	19.3 b	2.06 ab	81.9 ab	26.0 b	84.3 ab	4989 abc
黃豆粉敷蓋	0.6	105.7 a	13.6 cd	20.3 a	1.75 b	76.4 ab	24.1 d	82.1 b	3822 cdef
黃豆粉敷蓋	0.9	105.1 a	12.0 de	21.0 a	1.60 b	70.2 b	22.6 e	79.9 b	3294 defg
米糠敷蓋	0.5	105.3 a	13.6 cd	21.0 a	1.75 b	79.7 ab	26.0 b	84.1 ab	2839 fg
米糠敷蓋	1.0	104.8 a	10.9 e	20.3 a	1.74 b	74.0 b	24.3 cd	80.6 b	2100 g
米糠敷蓋	1.5	–[x]	–	–	–	–	–	–	–
鴨子		105.0 a	19.8 a	19.1 b	2.39 a	89.5 a	30.8 a	89.1 a	5729 a

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different at α= 0.05 by Duncan's MRT.

[x]: Rice seedling were killed by fermentation of rice bran.

4.雜草控制方法對稻米品質之影響

水稻生育期間，不同的雜草控制方法，營造出不同的生長環境，除影響稻穀產量外，對於稻米的食味品質也可能造成影響。米飯食味之好壞主要由口感支配，而口感又是由米飯複雜的物理性來決定。就官能食味特性而言，白米直鏈澱粉及蛋白質含量、米飯之咀嚼性均與食味總

評呈顯著負相關，而白米之凝膠展延性、米飯之彈性、黏性、附著性、黏著性、食味結構指數則與食味總評呈顯著正相關(洪等 1989, 許及宋 1988)。雜草控制方法間之食味品評項目中，僅接種滿江紅處理之米飯硬度較軟，與其他各處理達顯著差異，其他各品評項目處理間皆未達顯著差異(圖 18)。整體而言，紙膜敷蓋、煙燻稻殼及接種滿江紅處理在米粒外觀有較佳的表現，飼鴨處理之米粒外觀較對照組差。紙膜敷蓋處理之米飯口味較佳，以米糠敷蓋及飼鴨處理之米飯較不具黏性，且硬度較高。在食味總評方面，飼鴨處理、每平方公尺施用米糠 0.5 公斤及黃豆粉 0.6 公斤，表現較對照組不理想。

黃豆粉三個等級施用量，以每平方公尺施用 0.6 公斤之米飯口味較對照組差，在黏性方面，則以較高用量每平方公尺施用黃豆粉 0.6 及 0.9 公斤處理的米飯黏性較低，且口感較硬，主要是因高用量之黃豆粉氮素含量過高所致。三個等級米糠施用量則以低用量每平方公尺施用 0.5 公斤之米飯口味表現較差，且較不具黏性，但在米飯硬度卻較軟，食味總評仍表現較差。

5.各種雜草防除方法之經濟效益分析

水稻有機栽培似乎是復古的耕作方式加上現代科技的結合，因此必需花費比一般化學栽培更多的人力、物力及成本。且初期稻穀收量常低於慣行栽培法，但連續施行有機栽培，產量可望呈穩定增加。有機稻穀因售價較高，可彌補減產的損失。

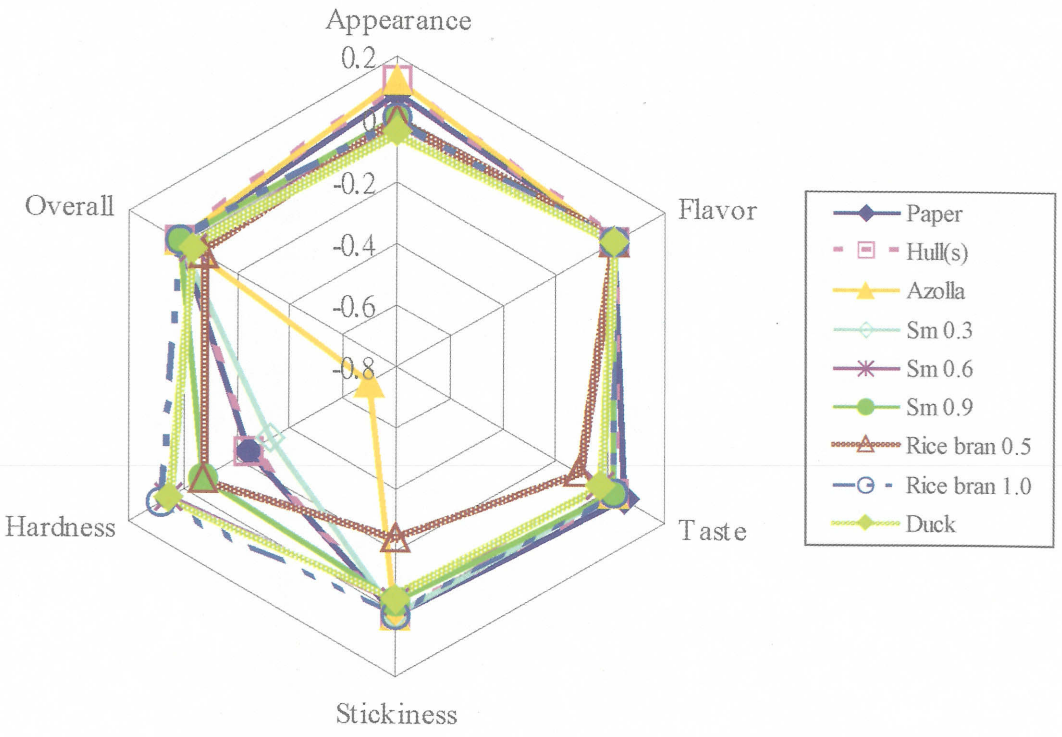

圖 18. 不同雜草控制方法對水稻台稉9 號米飯食味評鑑之影響(2002 年二期作) (摘自王 2003)。

王(2003)經濟成本效益分析指出，鴨子處理之雜草防治成本，包括購買幼鴨每隻 15 元，一公頃 200 隻幼鴨成本共需 3,000 元。飼料費用 7 公斤/隻×8.5 元/公斤×200 隻/公頃=11,900 元，合計飼鴨除草成本為 14,900 元。黃豆粉每公頃施用 3,000 公斤，黃豆粉市價每公斤 9 元，共需 27,000 元的成本。而米糠則每公頃施用 5,000 公斤，每公斤 4 元，合計 20,000 元。紙膜成本一卷 180 元(長×寬=100 公尺×1.3 公尺)，1 公頃需 85 卷，共計成本為 15,300 元。人工除草每公頃需花費 25 工作天，一天工資 1,000 元，人力成本共 25,000 元，使用除草劑每公頃需 1,300 元藥劑費用。

水稻生產過程除雜草防治成本外，還包括整地、插秧、施肥、福壽螺及病蟲害防治、收割、烘乾等人工費 42,000 元；有機肥料、秧苗、蘇力菌及苦茶粕等材料費 38,250 元，合計 80,250 元。

黃豆粉及米糠處理區節省 9,000 元之追肥成本，而慣行栽培區因使用化學合成肥料及農藥，所以其他生產成本僅花費 64,110 元。因此總生產成本支出依序為人工除草區＞黃豆粉區＞紙膜敷蓋區＞飼鴨區＞米糠區＞煙燻稻殼區、滿江紅區、對照區＞慣行栽培區。

目前有機稻穀市價每公斤為 32 元，而慣行栽培稻穀每公斤僅 18 元，以稻穀產量×稻穀市價可換算成稻穀產值。在飼養鴨子的處理，另有成鴨之收益，因此飼鴨處理的總產值包括稻穀產值 209,792 元及成鴨產值 60,000 元，合計產值達 269,792 元，總產值居各處理之冠。其次依序為黃豆粉處理＞養殖滿江紅＞人工除草＞紙膜敷蓋＞慣行栽培＞煙燻稻殼＞對照區，其中以對照區之總產值 87,808 元最低。將總產值減去總生產成本就可以得到總收益，以飼鴨處理之總收益 174,642 元最高，較對照組增加 22 倍，亦明顯比慣行農法提高 3.4 倍收益，其次依序為黃豆粉處理＞養殖滿江紅＞米糠處理＞慣行栽培＞人工除草＞紙膜敷蓋＞煙燻稻殼＞對照區。其中黃豆粉處理、接種滿江紅及米糠處理之總收益亦較慣行栽培高，分別提高 117、98.7 及 65.2 %。人工除草區之總產值雖較慣行栽培區高，但其人工除草成本就佔了 25,000 元，以致於總收益比慣行栽培差(表 4)。

綜合以上結果，就經濟效益而言，實行有機栽培以飼鴨處理之總收益最高，施用黃豆粉、養殖滿江紅及施用米糠也有不錯的表現，不但整體收益較慣行栽培區高出許多。對於整個生態環境的維護，農業的永續經營發展，更不能單以金錢價值來衡量，值得進一步加以推廣。

(三)耕作制度

1.利用輪作制度控制雜草

現代作物栽培方式，偏重周密的整地、肥料合理使用、病蟲害與雜草防除、及品種的改良等，雖可維持相當高之產量，卻往往忽略連作的危害。適當的輪作制度，經濟合理利用土壤養分及氣候環境，可防止病蟲害及雜草的發生，增強作物之生長勢及對雜草之競爭力。同時，諸如播種期、播種量、施肥、灌排水等田間管理作業，對養成健壯的作物亦極重要。

現代農業經營多採用單作栽培，對於雜草防除工作上有極大的缺點。作物生長初期，無法充分利用各種生存物

表 4. 有機稻田不同雜草控制方法之成本及效益分析(摘自王 2003)。

處理	除草成本	其他成本	總成本	產量	收入	附加收入	總收入	收益
	-----	-----	------	-----	NTD ha^{-1}	-----	------	------
紙膜敷蓋	15,300	80,250	95,550	4,066	130,112	0	130,112	34,562
黃豆粉敷蓋	27,000	71,250	98,250	5,789	185,248	0	185,248	86,998
米糠敷蓋	20,000	71,250	91,250	4,922	157,504	0	157,504	66,254
煙燻穀殼	0	80,250	80,250	3,022	96,704	0	96,704	16,454
滿江紅	0	80,250	80,250	5,000	160,000	0	160,000	79,750
鴨子	14,900	80,250	95,150	6,556	209,792	60,000	209,792	174,642
CK	0	80,250	80,250	2,744	87,808	0	87,808	7,558
人工除草	25,000	80,250	105,250	4,500	144,000	0	144,000	38,750
除草劑	1,300	64,110	65,410	5,865	105,570	0	105,570	40,160

質，尤其是生存空間，往往導致使雜草有機可乘，得以利用生態空隙(ecological hiatus)而成活，並進一步與作物產生競爭，有礙作物生產。

鄭(1997)指出稻田經七年輪作處理後，雙期作水田經轉作旱作，不論對土壤理化性或雜草相，均有重大影響。再恢復種植雙期作水稻，田間尖葉類雜草之發生不論第一、第二期作都是以連作水田發生量最高，第二期作尖葉類雜草之發生量高於第一期作。闊葉類雜草僅發生於連續旱田處理後之水稻第一期作。旱田連作處理後之二期作水稻，闊葉類雜草發生較少。所以水旱田的輪作制度，可明顯降低雜草種類。不同輪作制度後，土壤 pH 值亦有變化。土壤 pH 值的變化可能影響作物對養分吸收能力，改變土壤微生物相，因而影響病害之發生。水旱田狀態交互使用之土壤利用方式，土壤會因氧化還原狀態的改變，直接影響土壤養分之有效性，間接影響作物適應性及產量。更有學者指出，輪作制度會因作物種類及栽培方式之不同，使得雜草競爭壓力改變，造成雜草發生量與雜草相之改變(蔣及蔣 1983)。

2.草生栽培抑制雜草

臺灣地區果樹栽培面積廣達22萬公頃，生產區域涵蓋平地、坡地及高山。果樹多屬多年生，生育初期的管理，除施肥、灌溉、病蟲害防治及整枝疏果作業外，最主要為果園的雜草管理。由於果樹生育初期的樹相及群落密度無法覆蓋整個地面空間，形成雜草滋生，並與果樹生長產生競爭。有機果園雜草的管理，國內採行方法包括人工除草、覆蓋塑膠布或有機資材及草生抑草等(蔡 1983)。

近來果園利用地被植物覆蓋行草生栽培漸受重視(張 1996, 楊 1996)，發展方向包括原生禾草類的選留及多年生豆科綠肥引進試種。多年生豆科綠肥可兼作覆蓋作物，截阻雨點打擊，不僅抑制土壤沖蝕(王等 1975, 袁及蔣 1996, 張 1996)，同時防除雜草、降低管理成本及

增加土壤有機質(袁及蔣 1996, 張 1996, 黃 1978, Akobundu 1992)。覆蓋植物於根系枯死腐爛後，增加土壤的孔隙度，使土壤透氣性及雨水入滲率提高，改良土壤理化性質(陳等 1992, 陳 1979, Tate 1987, Williams *et al*. 1963)，緩和微氣候及地溫之變化(楊 1996, Akobundu 1992)。

有機栽培要求不能使用除草劑清除果園雜草，故於果園行株間保留自然草生或選擇性引入草類，加以適當管理。事實上，即使一般非有機栽培之果園，也可採行草生栽培。果園草生栽培可整年不必噴施除草劑，不但節省生產成本，果園也漸漸形成平衡的生態體系。果園草生栽培可防止表土沖蝕，增加保水力，增進土壤團粒構造、改善土壤理化性及有益微生物增殖(圖 19 及圖 20)。

四、結語

雜草綜合管理是整體自然資源管理的一環，除具有綜合防除雜草的目標外，農業生態環境、栽培制度與社會利益因素均會影響整個管理策略的成效，也是有機栽培體系雜草綜合管理必須考慮的要素。推動有機農業最終目標為達到農業的永續經營，因此利用覆蓋作物、草生栽培、敷蓋物、淹水、火燒及耕犁等方法，有助於減少農藥施用，研發不具污染環境資材，也是有機栽培之重點。當以上整合措施仍無法有效控制雜草時，便須以人工或機械來進行除草，確實做到除草時機之掌控，避免雜草開花結子，以絕後患。水稻有機栽培利用鴨子控制田間雜草，能有效抑制田間雜草族群，防除蟲害及螺害，增加養分的供給，提高稻穀產量，還能增加有機鴨的額外收入，提高農民收益。水田亦可利用滿江紅抑制雜草，且可增進稻田地力，減少化學肥料對環境和土壤的破壞。栽培上所使用之種子，盡量使用純潔未混雜雜草種子之高純度種子。有機肥經高溫發酵後，可將其中所含之雜草種子殺死，使其不具發芽能力。有機肥則使用經過充分發酵完全腐熟之有機肥，保持圍籬及農路的清潔，定期清除雜草，以防止雜草再度入侵及繁殖。

圖 19. 釋迦園草生栽培(攝自興大農場)。

圖 20. 梨樹園利用甘藷葉覆蓋抑制雜草生長(攝自東勢鎮)。

五、參考文獻

王淑敏。2003。利用鴨子控制有機稻田雜草之研究。國立中興大學農藝學系碩士論文。臺中市。

王孝才、張雙滿、程仲武、鄭慶生。1975。陡坡地果園覆蓋作物與敷蓋觀察。中華農學會報 新 91：69-75。

行政院農業委員會。2001。中華民國農業統計年報。臺北市。

李啟彰、林錫錦、林家棻。1981。水田滿江紅 *Azolla pinnata* 之研究 1. 環境因子對滿江紅生長之影響。中華農業研究 30: 405-411。

邱建中。1985。雜草防治原理與方法。臺中區農推專訊 38 期。

袁秋英、蔣慕琰。1996。除草劑對覆地植被及水土保育之影響。p.357-372。除草劑安全使用及草類利用管理研討會專刊。中華民國雜草學會出版，臺中縣霧峰鄉。

林錫錦。1983。水田滿江紅固氮之肥效及抑制稻田雜草之研究。中華農業研究 32:348-359。

洪梅珠、宋勳、劉慧瑛、林禮輝。1989。稻米理化性質之研究 .官能食味特性與米粒外貌及化學性質間相關之研究。臺中區農業改良場研究彙報 24：53-62。

張明賢。1996。果園草生栽培。p.183-189。臺灣熱帶地區果園經營管理研討會專刊。農委會高雄區農業改良場編印，屏東市。

陳明義、姜瑋秀、林信輝。1992。坡地果園自然覆蓋草類之選留。林業特刊第 42 號：110-120。

許愛娜、宋勳。1988。稻米食味與其理化性質關聯性之探討。p.91-104。稻米品質研討會專集。臺中區農業改良場編印，彰化縣大村鄉。

陳清茂。1979。覆蓋與敷蓋對坡地土壤物理性質之影響。國立中興大學水土保持學研究所碩士論文。臺中市。

黃俊義。1978。覆蓋作物及敷蓋對坡地土壤肥力之影響。中華水土保持學報 9(2)：83-90。

楊秋忠。1996。草類與土壤肥力管理。109-115。除草劑安全使用與草類利用管理研討會專刊。中華民國雜草學會編印，臺中縣霧峰鄉。

鄭書杏。1997。不同輪作制度對土壤理化性及水田雜草相之影響。花蓮區農業改良場研究彙報 14:79-96。

蔡雲鵬。1983。果園雜草防治。中華民國雜草學會會刊 4(1): 76-79。

蔣永正。2002。有機栽培之雜草防治技術。行政院農業委員會農業試驗所特刊第 102 號。p.97-104。

蔣慕琰、蔣永正。1983。臺灣旱田雜草之種類、生態及危害。中華民國雜草協會會刊 4：31-40。

簡宣裕、林錫錦、林啟彰。1994。滿江紅與固氮藍綠藻之研究。p.71-85。微生物肥料之開發與利用研討會專刊。農委會農業試驗所，台中縣霧峰鄉。

蘇啟懷。2001。改進有機稻田雜草防治之研究。國立中興大學農藝學系碩士論文。臺中市。

大場伸一。2001。米糠散佈對水稻生長之影響。p.116-117。關東東海北陸農業研究成果情報。日本。

中山幸則、北野順一。2001。米糠對水田雜草除草效果。p.118-119。關東東海北陸農業研究成果情報。日本。

Asano, H., K. Isobe and Y. Tusboki. 1999. Eating habits and behaviour of Aigamo duck in paddy field. J. Weed Sci. Tech. 44：1-8.

Akobundu, I.O. 1992. Integrated weed management techniques to reduce soil degradation p. 278-288. *In*: Proceedings of the first International

Weed Control Congress. Weed Science Society of Victoria Inc., Australia.

Becking, J.H. 1979. Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production. p.345-375. *In:* Nitrogen and Rice. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.

Isobe, K., H. Asano and Y. Tsuboki. 1998. Effects of cultivation methods on the emergence of weeds and the growth and yield of paddy rice, with special reference of using Aigamo duck. Jpn. J. Crop Sci. 67:297-301.

Kang, Y.S., J.I. Kim and J.H. Park. 1995. Influence of rice-duck farming system on yield and quality of rice. Korean J. Crop Sci. 40:437-443.

Kim, H.D., J.S. Park, K.H. Bang, Y.C. Cho, K.Y. Park, K.C. Kwon and Y.D. Rhoe. 1994. Rice growth and yield response in a rice/duck farming system in paddy fields. Korean J. Crop Sci. 39: 339-347.

Lee, C.C. and C.J. Lin. 1981. The possibility of using *Azolla* as a source of nitrogen for rice in Taiwan. Soil Fertilizers Taiwan. 1981:35-43.

Lumpkin, T.A. and D.L. Plucknett. 1980. *Azolla*: botany, physiology and use as a green manure. Eco. Bot. 34: 111-153.

Melander, B., T. Heisel and M.H. Jørgensen. 2002. Band-steaming for intra-row weed control. p.11-13. *In*: 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control. 8-10 March 2004. Lillehammer, Norway. Hedmark University College/The Norwegian Crop Research Institute, Norway.

Moore, A.W. 1969. *Azolla*: biology and agronomic significance. Bot. Rev. 35: 17-34.

Rains, D.W. and S.N. Talley. 1979. Use of *Azolla* in North American. p.419-431. *In:* Nitrogen and Rice. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.

Smith, R.J. 1983. Weed of major economic importance in rice and yield losses due to weed competition. p.19-36. *In:* Weed Control in Rice. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.

Singh, P.K. 1978. First report on pests of the fern *Azolla* and their control. Sci. Culture 44:234-235.

Tate, R.L. 1987. Soil Organic Matter: Biological and Ecological Effects. John Wiley and Sons, New York. 304pp.

Wang, T.T., W.S. Kao and T.H. Chang. 1981. On *Azolla* culture to increase soil fertility in rice fields of Beijing. Acta Agriculture Universitatis Pekinensis 7:33-39.

Watanabe, I., C.R. Espinas, N.S. Berja and B.V. Alimagno. 1977. Utilization of the Azolla-Anabaena complex as a nitrogen fertilizer for rice. International Rice Research Institute. Res. Pap. Ser. 11. 15pp.

Williams, C.H. and D.J. David. 1963. Effects of pasture improvement with subterranean clover and superphosphate on the availability of terrace to plants. Aust. J. S. R. 14:85-93.